



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2002057733 A**

(43) Date of publication of application: **22.02.02**

(51) Int. Cl.

H04L 27/36
H03F 1/02
H03F 1/32
H03F 3/24
H04L 27/01
H04L 27/20

(21) Application number: 2000233831

(22) Date of filing: 01.08.00

(71) Applicant: **SAMSUNG ELECTRONICS CO LTD**

(72) Inventor: **NAGASAKA HIROYUKI**

**(54) NONLINEAR DISTORTION COMPENSATION
CIRCUIT AND NONLINEAR DISTORTION
COMPENSATION METHOD**

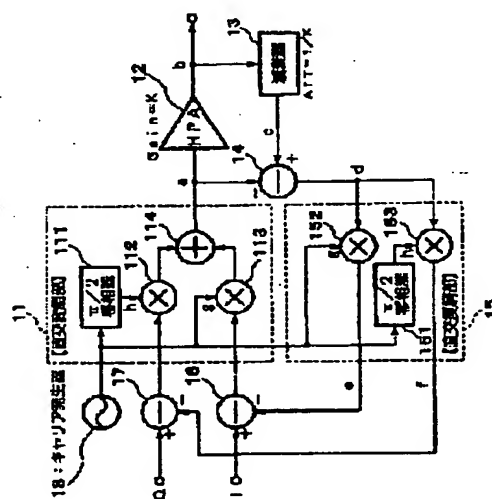
(57) Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a nonlinear distortion compensation circuit that can compensate nonlinear distortion due to high power amplification with high accuracy and small power consumption without the need for a complicated large-scale digital arithmetic circuit or pseudo distortion generating circuit or the like.

SOLUTION: The nonlinear distortion compensation circuit extracts a nonlinear distortion component from a modulation signal subjected to nonlinear high output amplification, superimposes a distortion component with an inverted phase of a distortion component of a base band region that is generated by applying a quadrature demodulation to the extracted distortion component and converting the resulting component into a base band signal in the base band region onto the base band signal, applies a quadrature modulation to the base band signal onto which the inverted distortion component is superimposed, and applies nonlinear high power amplification to the modulated base band signal so as to cancel the nonlinear distortion caused at the nonlinear high power amplification. Thus, the nonlinear distortion compensation circuit can compensate nonlinear distortion

due to high power amplification without using a complicated large-scale digital arithmetic circuit or pseudo distortion generating circuit or the like and reduce the power consumption because of its small circuit scale.

COPYRIGHT: (C)2002 JPO



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ベースバンド信号を直交変調した後、非線形高出力増幅する送信機で、前記非線形高出力増幅する際に生じる非線形歪みを補償する非線形歪み補償回路において、

前記非線形高出力増幅した変調信号から非線形歪み成分を抽出する歪み抽出部と、

前記歪み抽出部から抽出した歪み成分をベースバンド領域に直交復調する直交復調部と、

前記直交復調部より出力されるベースバンド領域の歪み成分の逆位相の歪み成分を前記ベースバンド信号に重畳する歪み重畳部と、

を具備することを特徴とする非線形歪み補償回路。

【請求項2】 前記歪み抽出部から抽出した歪み成分の位相を調整してからベースバンド領域に直交復調することを特徴とする請求項1記載の非線形歪み補償回路。

【請求項3】 前記直交復調部より出力されるベースバンド領域の位相を調整し、その結果歪み成分の逆位相の歪み成分を前記ベースバンド信号に重畳することを特徴とする請求項1記載の非線形歪み補償回路。

【請求項4】 前記歪み抽出部は、前記非線形高出力増幅した変調信号を、非線形高出力増幅した分だけ減衰させる減衰器と、この減衰器の出力信号から非線形高出力増幅する前の変調信号を減算する減算器とから成ることを特徴とする請求項1乃至3いずれかに記載の非線形歪み補償回路。

【請求項5】 前記歪み抽出部は、前記非線形高出力増幅した変調信号を、非線形高出力増幅した分だけ減衰させる減衰器と、非線形高出力増幅する前の変調信号の位相を反転させる位相反転器と、前記減衰器の出力信号に前記位相反転器より出力される反転変調信号を加算する加算器とから成ることを特徴とする請求項1乃至3いずれかに記載の非線形歪み補償回路。

【請求項6】 前記歪み重畳部は、前記ベースバンド信号から前記直交復調部より出力されるベースバンド領域の歪み成分を減算する減算器から成ることを特徴とする請求項1乃至5いずれかに記載の非線形歪み補償回路。

【請求項7】 前記歪み重畳部は、前記ベースバンド信号に前記直交復調部より出力されるベースバンド領域の歪み成分の位相反転成分を加算する加算器から成ることを特徴とする請求項1乃至5いずれかに記載の非線形歪み補償回路。

【請求項8】 前記ベースバンド領域の歪み成分の位相反転成分は、前記歪み抽出部により抽出された歪み成分の位相を位相反転器で反転させてから前記直交復調部により直交復調することにより生成することを特徴とする請求項7記載の非線形歪み補償回路。

【請求項9】 ベースバンド信号を直交変調した後、非線形高出力増幅する送信機で、前記非線形高出力増幅する際に生じる非線形歪みを補償する非線形歪み補償方法

において、

前記非線形高出力増幅した変調信号から非線形歪み成分を抽出するステップと、 前記抽出した歪み成分を直交復調してベースバンド領域に直交復調するステップと、 前記直交復調されて生成されるベースバンド領域の歪み成分の逆の歪み成分を前記ベースバンド信号に重畳するステップと、

を具備することを特徴とする非線形歪み補償方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、無線送信機等で用いられる直交変調回路に係り、特にベースバンド信号を直交変調した後に高電力増幅する際に生じる非線形歪みを補償する非線形歪み補償回路及び非線形歪み補償方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、直交変調回路では、ベースバンド信号を直交変調した後、変調信号を高電力増幅するが、このとき電力効率を向上させるために非線形増幅し、これにより、増幅した変調信号に非線形歪みが発生するため、発生した歪みを補償して入出力特性を線形化することが行われている。このような非線形歪みを補償する従来の方法として、図8に示すようなプリディストーション式の非線形歪み補償方式がある。

【0003】図8において、ベースバンド信号I、Qは歪み補償演算部1を通して、D/Aコンバータ2、D/Aコンバータ3に入力され、ここでアナログ信号になって直交変換器4に入力される。直交変換器4に入力されたベースバンド信号I、Qは直交変調され、更に、高電力増幅器(HPA)5で高電力増幅されて出力される。

【0004】ここで、補償データテーブル7は、高電力増幅器5の増幅時の非線形特性を予め測定した結果を用いて作成された補償データをテーブル化して保持している。電力計算器6はベースバンド信号I、Qの電力を計算し、得られた電力を補償データテーブル7に出力する。補償データテーブル7はベースバンド信号I、Qの電力に応じてそのテーブルを参照し、対応する補償データを読み出して、歪み補償演算部1に出力する。

【0005】これにより、歪み補償演算部1は入力される直交変調する前のベースバンド信号I、Qに高電力増幅器4で生じる非線形歪みをキャンセルさせるような逆特性の歪みを予め加えて、D/Aコンバータ2、3に出力する。このため、高電力増幅器5で高電力増幅された変調信号には非線形歪みが含まれないことになる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】上記した従来のプリディストーション式の非線形歪み補償方式では、ベースバンド信号の電力に応じてその補償データテーブルを参照するものであるため、高電力増幅器5の特性のパラツキや温度変化などにより回路全体の性能が劣化し易いとい

う欠点があった。

【0007】そこで、図9に示すように、高電力増幅器5の出力を方向性結合器8で分岐し、この分岐出力信号を直交復調器9で直交復調してから補償データ演算部10にフィードバックさせる方式の回路がある。この回路の補償データ演算部10は前記フィードバックテーブル情報に応じた係数を内蔵の補償データテーブル（図1の7と同様のもの）のデータに乗算して補正をかけて、高電力増幅器5の特性のバラツキや温度変化に依らず、精度の高い補償データを歪み補償演算部1に出力して、上記欠点による影響を低減させようとしている。

【0008】しかし、上記したいずれの回路も、擬似的な非線形歪みを生成し、これを利用しているため、上記欠点を十分に解決してはならず、また、上記したいずれの回路も複雑なデジタル演算を行なうため、回路規模が大きくなり、その結果、消費電力も大きくなるため、特にバッテリーを電源とする送信機では、動作時間が短縮化されるという問題がある。

【0009】本発明は、上述の如き従来の課題を解決するためになされたもので、その目的は、高電力増幅器の特性が変動しても正確に高電力増幅により発生する非線形歪みを補償することができ、複雑で大規模なデジタル演算回路や擬似歪み発生回路等を用いずに高電力増幅により発生する非線形歪みを補償することができ、しかも、消費電力を小さくできる非線形歪み補償方法及び非線形歪み補償回路を提供することである。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、請求項1の発明の特徴は、ベースバンド信号を直交変調した後、非線形高出力増幅する送信機で、前記非線形高出力増幅する際に生じる非線形歪みを補償する非線形歪み補償回路において、前記非線形高出力増幅した変調信号から非線形歪み成分を抽出する歪み抽出部と、前記歪み抽出部から抽出した歪み成分を直交復調してベースバンド領域に復調する直交復調部と、前記直交復調部より出力されるベースバンド領域の歪み成分の逆の歪み成分を前記ベースバンド信号に重畳する歪み重畳部とを具備することにある。

【0011】請求項2の発明の特徴は、前記歪み抽出部から抽出した歪み成分の位相を調整してからベースバンド領域に直交復調することにある。

【0012】請求項3の発明の特徴は、前記直交復調部より出力されるベースバンド領域の位相を調整し、その結果歪み成分の逆位相の歪み成分を前記ベースバンド信号に重畳することにある。

【0013】請求項4の発明の前記歪み抽出部は、前記非線形高出力増幅した変調信号を、非線形高出力増幅した分だけ減衰させる減衰器と、この減衰器の出力信号から非線形高出力増幅する前の変調信号を減算する減算器とから成ることを特徴とする。

【0014】請求項5の発明の前記歪み抽出部は、前記非線形高出力増幅した変調信号を、非線形高出力増幅した分だけ減衰させる減衰器と、非線形高出力増幅する前の変調信号の位相を反転させる位相反転器と、前記減衰器の出力信号に前記位相反転器より出力される反転変調信号を加算する加算器とから成ることを特徴とする。

【0015】請求項6の発明の前記歪み重畳部は、前記ベースバンド信号から前記直交復調部より出力されるベースバンド領域の歪み成分を減算する減算器から成ることを特徴とする。

【0016】請求項7の発明の前記歪み重畳部は、前記ベースバンド信号に前記直交復調部より出力されるベースバンド領域の歪み成分の位相反転成分を加算する加算器から成ることを特徴とする。

【0017】請求項8の発明の前記ベースバンド領域の歪み成分の位相反転成分は、前記歪み抽出部により抽出された歪み成分の位相を位相反転器で反転させてから前記直交復調部により直交復調することにより生成することを特徴とする。

【0018】請求項9の発明の特徴は、ベースバンド信号を直交変調した後、非線形高出力増幅する送信機で、前記非線形高出力増幅する際に生じる非線形歪みを補償する非線形歪み補償方法において、前記非線形高出力増幅した変調信号から非線形歪み成分を抽出するステップと、前記抽出した歪み成分を直交復調してベースバンド領域に直交復調するステップと、前記直交復調されて生成されるベースバンド領域の歪み成分の逆の歪み成分を前記ベースバンド信号に重畳するステップとを具備することにある。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。図1は、本発明の動作原理を説明するための非線形歪み補償回路の構成を示した回路図である。この回路は、直交変調部11、高電力増幅器（HPA）12、減衰器13、減算器14、直交復調部15、減算器16、17及びキャリア発生器18を有している。

【0020】直交変調部11は、 $\pi/2$ 移相器111、乗算器112、113、加算器114から成り、直交部復調部15は、 $\pi/2$ 移相器151、乗算器152、153から成っている。尚、減衰器13、減算器14、直交復調部15、減算器16、17が本発明の非線形歪み補償回路を構成している。

【0021】次に本発明の非線形歪み補償回路の動作について説明する。ベースバンド信号I、Qは、それぞれ減算器16、17で後述する歪み成分e、fが減算されてから直交変調部11に入力される。直交変調部11では、キャリア発生器18で発生され $\pi/2$ 移相器111で $\pi/2$ 移相されたキャリアhとベースバンド信号Qが乗算器112で乗算された後、加算器114に入力され

る。ベースバンド信号Iは、キャリア発生器18で発生されたキャリアgと乗算器113で乗算された後、更に加算器114に入力され、前記乗算器112の出力信号と加算されて直交変調され、直交変調信号aが高電力増幅器12に入力される。

【0022】高電力増幅器12は直交変調信号aを非線形高電力増幅（利得K）して出力するが、出力信号bの一部は減衰器13に入力されて、高電力増幅器12の増幅利得分減衰（ $1/K$ ）され、出力信号cとなって減算器14に入力される。減算器14では、高電力増幅器12から出力された非線形歪みを含んだ信号cから、直交変調部11から出力された歪みのない直交変調信号aが減算され、非線形増幅歪み成分dのみが抽出される。

【0023】この非線形増幅歪み成分dは、キャリア発生器18で発生されたキャリアgと乗算器152で乗算され、同時にキャリア発生器18で発生され $\pi/2$ 移相器151で $\pi/2$ 移相されたキャリアhと乗算器153で乗算されて復調され、ベースバンド領域の歪み成分e、fとなって、減算器16、17に入力される。

【0024】従って、減算器16では、ベースバンド信号Iから高電力増幅器12で生じるであろう歪み成分eが予め減算されることによって、逆歪み成分が重畳され

$$A_{in} = S_I \cdot \cos \theta + S_Q \cdot \sin \theta \quad \text{--- (1)}$$

【0028】また、高電力増幅器（HPA）による高電力増幅で歪みが発生したときの非線形歪み成分をD、その時のHPAの増幅率をKとすると、b点における非線

$$A_{out} = K \cdot A_{in} + D \quad \text{--- (2)}$$

【0030】減衰器13の減衰率を $1/K$ とすると、c点における信号は、

$$A_{out}/K = A_{in} + D/K \quad \text{--- (3)}$$

【0032】となり、さらにd点における信号は、

【0033】

$$A_{in} + D/K - A_{in} = D/K \quad \text{--- (4)}$$

【0034】となって歪み成分の（ $1/K$ ）のみが抽出される。

$$e \text{ 点は } D/K \cdot \cos \theta, f \text{ 点は } D/K \cdot \sin \theta \quad \text{--- (5)}$$

【0036】よって逆歪みを加えた後のHPA入力信号A' _{in} (a点)は、式(5)より

$$A'_{in} = (S_I - D/K \cdot \cos \theta) \cdot \cos \theta + (S_Q - D/K \cdot \sin \theta) \cdot \sin \theta \quad \text{--- (6)}$$

【0038】であるので、これをHPAで増幅するとHPA出力信号A' _{out} (b点)は、

たベースバンド信号Iが直交変調部11に入力される。減算器17では、ベースバンド信号Qから高電力増幅器12で生じるであろう歪み成分fが予め減算されることによって、逆歪み成分が重畳されたベースバンド信号Qが直交変調部11に入力される。

【0025】即ち、前記減算器16、17では、減算器14で抽出した歪み成分を直交復調することにより生成されるベースバンド領域における逆歪み特性（高電力増幅時に発生する非線形歪み成分をキャンセルする特性）の歪み成分を前記ベースバンド信号に重畳していると言える。従って、前記逆の歪み成分が重畳されたベースバンド信号が直交変調部11により直交変調された後、高電力増幅器12で非線形高電力増幅される時に発生する非線形歪みはキャンセルされる。

【0026】ここで、上記した非線形歪み補償の原理を以下に述べる。まず、高電力増幅器12において歪みが生じる前のa点における信号A _{in}は、I、Qベースバンド信号をそれぞれS _I、S _Qとし、キャリア発生器出力をc _{os} θ （簡略のため、振幅は1とする）とすると、

【0027】

【数1】

形歪みを含んだHPAの出力信号A _{out}は、

【0029】

【数2】

【0031】

【数3】

【数4】

【0035】これを直交復調するとe点、f点における信号はそれぞれ次のようになる。

【0037】

【数5】

【0039】

【数6】

$$\begin{aligned}
 A'_{out} &= K \cdot A'_{in} + D = K \cdot (S_1 \cdot \cos \theta + S_0 \cdot \sin \theta) \\
 &\quad - D \cdot (\cos^2 \theta + \sin^2 \theta) + D \\
 &= K \cdot (S_1 \cdot \cos \theta + S_0 \cdot \sin \theta) = K \cdot A_{in}
 \end{aligned}$$

--- (7)

【0040】となり、歪みが除去され、線形な増幅を行なうことができる。

【0041】図2は本発明の非線形歪み補償方法の一実施形態に係る処理手順を示したフローチャートである。まず、ステップ201にて、非線形高出力増幅した変調信号から非線形歪み成分を抽出し、ステップ202にて、抽出した歪み成分を直交復調してベースバンド領域の歪み成分に変換する。次に、ステップ203にて、ベースバンド領域における逆歪み特性（非線形高出力増幅する際に発生する非線形歪みをキャンセルする特性）の歪み成分を前記ベースバンド信号に重畳する。

【0042】図3は、図1に示した回路の計算機シミュレーションによる動作確認結果を示した特性図である。図3(a)は本発明の非線形歪み補償回路をオフした場合の高電力増幅器12の出力信号の波形を示している。図3(b)は本発明の非線形歪み補償回路をオンした場合の高電力増幅器12の出力信号の波形を示している。非線形歪み補償回路により歪みの補償を行うと、隣接チャネル電力比(ACPR)の改善率として14~16dBの効果が現れる。

【0043】更に、図4に示したACPR対入力レベル特性を参照すると分かるように、非線形歪み補償回路をオンした場合、最大出力状態で位相や振幅を最適な値に調整しておけば、それ以下の出力レベルにおいてはそれよりACPRが劣化することはないので、適応化回路などの動的制御は必要なく、その後は無調整で利用できる効果がある。

【0044】本発明の非線形歪み補償回路によれば、高電力増幅器12で発生した歪みを抽出し、これをベースバンド領域の歪みに変換した後、ベースバンド信号I、Qから減算して逆歪みをベースバンド信号I、Qにフィードバックすることにより、高電力増幅器12で発生する非線形歪みをキャンセルすることができる。しかも、非線形歪み補償回路は複雑なデジタル演算を行なうことがないフィードバック系であるため、回路規模を小さくできると共に、消費電力を小さくすることができる。それ故、本例の直交変調回路をバッテリーを電源とする携帯電話等の送信機などに用いた場合、動作時間を長時間とする効果がある。

【0045】図5は本発明の第1の実施形態に係る非線形歪み補償回路の構成を示した回路図である。本例は、直交変調部11と高電力増幅器(HPA)12の間に、方向性結合器又は分配器19を挿入して、直交変調部11から出力される変調信号を分岐し、この分岐した変調

信号を遅延回路又は移相器20を通して、その位相を適切にシフトして減衰器13の出力信号の位相に合わせた後、減算器14に入力するようにしている。

【0046】又、高電力増幅器12の出力も方向性結合器又は分配器21により分岐され、この分岐出力が減衰器13に入力されるように成っている。更に、減算器14から得られる非線形歪み成分も位相調整器22を通して、その位相を調整した後、直交復調部15に入力している。又、直交復調部15により出力されるベースバンドの非線形歪み成分も、振幅調整器23、24を通して、その振幅を適切なものにしてから減算器16、17に入力されている。特に、抽出した非線形歪み成分の位相を調整してから直交復調部15に入力することにより、減算器16、17でベースバンド領域の歪み成分の逆位相の歪み成分が精度良く前記ベースバンド信号に重畳されるようにしている。

【0047】従って、本発明の非線形歪み補償回路は、方向性結合器又は分配器19、21、遅延回路又は移相器20、減衰器13、減算器14、直交復調部15、振幅調整器23、24、減算器16、17から構成されている。

【0048】その他の構成は図1に示した動作原理説明図と同様であり、高電力増幅器(HPA)12で発生した歪みの逆歪みをベースバンド信号にフィードバックして歪みをキャンセルするが、非線形歪み補償回路の各信号の位相関係と振幅関係を適切に整えることにより、実用的な回路構成としており、原理的には図1に示した動作原理説明図と同様の作用、効果がある。

【0049】図6は本発明の第2の実施形態に係る非線形歪み補償回路の構成を示した回路図である。本例では、図4に示した遅延回路又は移相器20を減衰器13と減算器14の間に挿入している。こうしても、減算器14に入力される方向性結合器19と減衰器13の各出力信号の位相を合わせることができる。

【0050】又、減算器14から出力される歪み成分の振幅を振幅調整器25により調整してから直交復調部15に入力し、直交復調部15から出力されるベースバンド領域の歪み成分の位相を位相調整器26、27で調整する構成としても、図4に示した回路と同等の動作を行うことができ、同様の効果がある。特に、本例では、ベースバンド領域の歪み成分の位相を調整することにより、減算器16、17でベースバンド領域の歪み成分の逆位相の歪み成分が精度良く前記ベースバンド信号に重畳されるようにしている。

【0051】図7は本発明の第3の実施形態に係る非線形歪み補償回路の構成を示した回路図である。本例では、方向性結合器又は分配器19で分岐した変調信号を位相反転&位相調整器28により位相を反転すると共に、その位相を調整して、加算器29に入力している。これにより、前述した実施形態で用いた減算器14の代わりに加算器29を用いて、歪み成分を抽出することができる。

【0052】又、加算器29から出力される歪み成分を位相反転器30によりその位相を反転させて、直交復調部15に出力することにより、ベースバンド領域に復調された歪み成分の位相を反転させているため、振幅調整器23、24及び位相調整器26、27を通った歪み成分の位相は前述した実施形態のそれと180度異なっているため、減算器ではなく、加算器31、32によってベースバンド信号I、Qに逆歪み成分を加えることができ、本実施形態も、第1、第2の実施形態と同様の効果がある。

【0053】尚、本発明は上記実施形態に限定されことなく、その要旨を逸脱しない範囲において、具体的な構成、機能、作用、効果において、他の種々の形態によっても実施することができる。

【0054】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、本発明によれば、実際に生じた歪みをフィードバックしているの、より正確に高電力増幅による非線形歪みを補償することができ、また、複雑で大規模なデジタル演算回路や擬似歪み発生回路等を用いずに高電力増幅による非線形歪みを補償することができ、しかも、消費電力を小さくすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の動作原理を説明するための非線形歪み補償回路の構成を示した回路図である。

【図2】 本発明の非線形歪み補償方法の一実施形態に係る処理手順を示したフローチャートである。

【図3】 図1に示した回路の計算機シミュレーションによる動作確認結果を示した特性図である。

【図4】 図1に示した回路のACPR対入力レベルの関係を示した特性図である。

【図5】 本発明の第1の実施形態に係る非線形歪み補償回路の構成を示した回路図である。

【図6】 本発明の第2の実施形態に係る非線形歪み補償回路の構成を示した回路図である。

【図7】 本発明の第3の実施形態に係る非線形歪み補償回路の構成を示した回路図である。

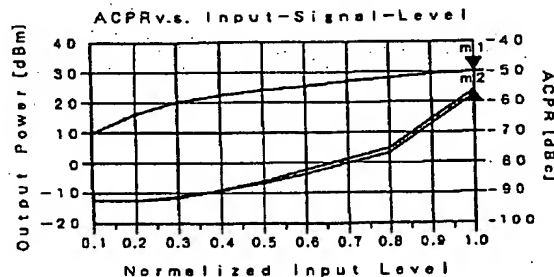
【図8】 従来の非線形歪み補償回路を搭載した送信機の構成例を示した回路図である。

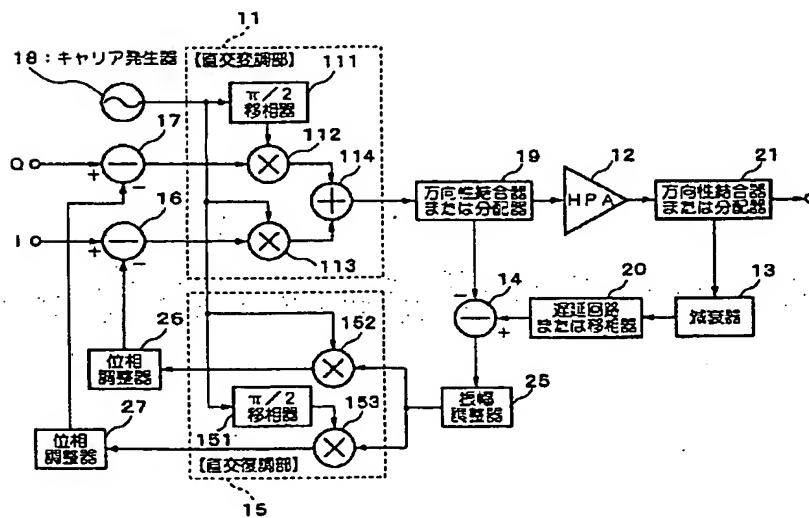
【図9】 従来の非線形歪み補償回路を搭載した送信機その他の構成例を示した回路図である。

【符号の説明】

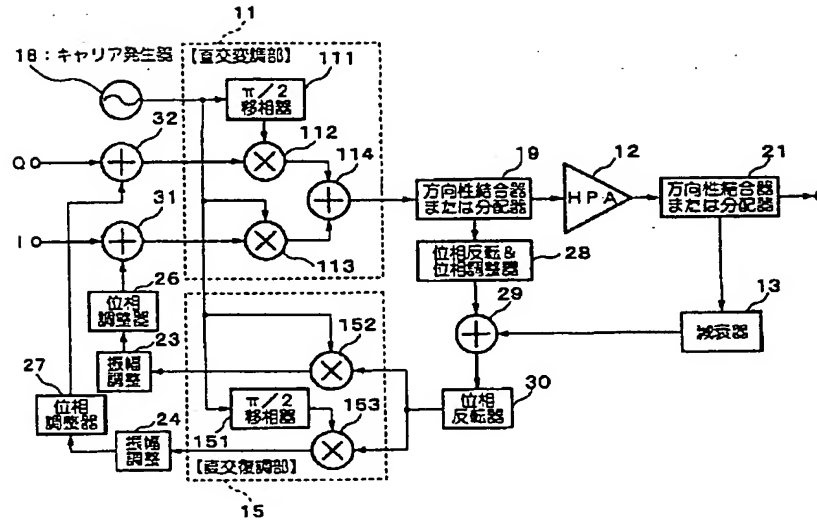
- 11 直交変調部
- 12 HPA（高電力増幅器）
- 13 減衰器
- 14、16、17 減算器
- 15 直交復調部
- 18 キャリア発生器
- 19、21 方向性結合器又は分配器
- 20 遅延回路又は移相器
- 22、26、27 位相調整器
- 23、24、25 振幅調整器
- 28 位相反転&位相調整器
- 29、31、32 114 加算器
- 30 位相反転器
- 111、151 $\pi/2$ 移相器
- 112、113、152、153 乗算器

【図4】

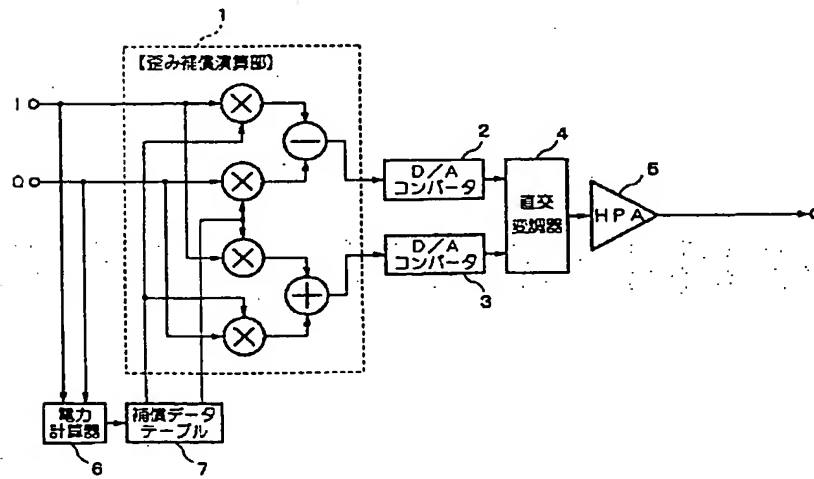




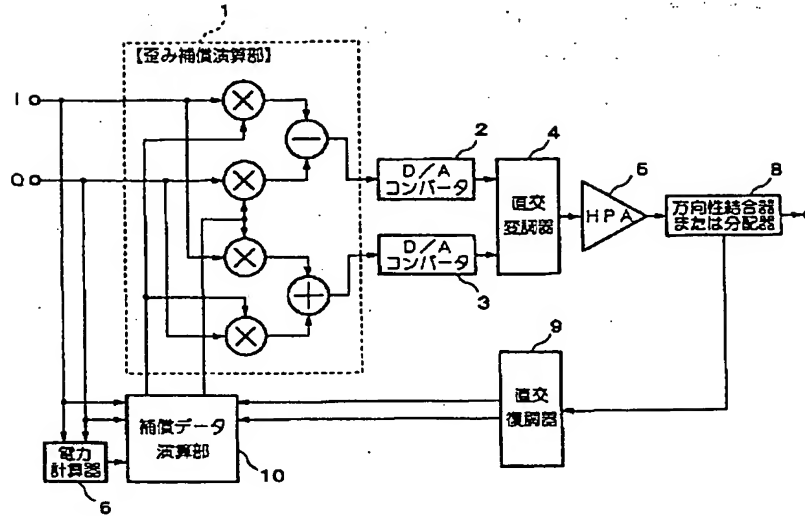
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷
H04L 27/20

識別記号

FI
H04L 27/00テーム(参考)
K

Fターム(参考) 5J090 AA01 AA41 CA21 CA36 FA08
 FA19 GN02 GN05 HN03 HN04
 HN08 KA00 KA04 KA15 KA16
 KA23 KA26 KA34 KA53 KA55
 KA68 MA11 SA14 TA01 TA02
 TA03 TA07
 5J091 AA01 AA41 CA21 CA36 FA08
 FA19 KA00 KA04 KA15 KA16
 KA23 KA26 KA34 KA53 KA55
 KA68 MA11 SA14 TA01 TA02
 TA03 TA07
 5J092 AA01 AA41 CA21 CA36 FA08
 FA19 KA00 KA04 KA15 KA16
 KA23 KA26 KA34 KA53 KA55
 KA68 MA11 SA14 TA01 TA02
 TA03 TA07
 5K004 AA01 AA05 AA08 BC00 FE11
 FF05 JE04 JF04

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.